مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۲۸، شماره ۱، سال ۱۳۹۱

ارزیابی ژنوتیپ‌های جو از نظر تحمل یخ‌زدگی طوقه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی

Assessment of Barley Genotypes for Crown Freezing Tolerance and some Physiological Characters

علّیه گنج‌خانلو[۱]، محمد مقدم[۲]، سیدابوالقاسم محمدی[۲]، محمدرضا شکیبا[۲]، کاظم قاسمی گلعذانی[۲] و احمد یوسفی[۳]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- کارشناس، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۲۱**

چکیده

گنج‌خانلو، ع.، مقدم، م.، محمدی، س. ا.، شکیبا، م. ر.، قاسمی گلعذانی، ک.، و یوسفی، ا. ۱۳۹۱ ارزیابی ژنوتیپ‌های جو از نظر تحمل یخ‌زدگی طوقه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۸:** ۱۰۰ - ۸۵

به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های جو از نظر تحمل یخ‌زدگی طوقه و برخی صفات فیزیولوژیکی، ۴۰ ژنوتیپ در دو آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند. در آزمایش اول بذرها در داخل گلدان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه کاشته شدند. پس از عادت‌دهی گیاهان به سرما به مدت چهار هفته، وزن تر و خشک بافت‌ها، درصد آب بافت‌ها و میزان اتلاف آب نسبی اندازه‌گیری شد. آزمایش دوم در قالب طرح اسپلیت‌پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دما به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ به عنوان عامل فرعی منظور شد. برای انجام آزمون انجماد طوقه، ژنوتیپ‌ها پس از عادت‌دهی گیاهان به سرما به اتاقک انجماد منتقل شدند و در دماهای مختلف یخ‌زدگی (زیر صفر) قرار گرفتند. درصد زنده‌مانی طوقه‌ها برای هر ژنوتیپ در هر تکرار در دماهای مختلف اندازه‌گیری شد و دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT50) برای آن‌ها تعیین شد. بین ژنوتیپ از نظر درصد آب طوقه، برگ و گیاهچه و درصد اتلاف آب بافت تفاوت معنی‌داری وجود داشت. میانگین LT50 برای ژنوتیپ‌ها ۱۰/۱۴ ^{o}C- به دست آمد ژنوتیپ‌های EC79-18، A1C84-9، A1C84-14 و Schulyer در ارتباط با صفات اندازه‌گیری شده ارزش مطلوب‌تری داشتند. ژنوتیپ‌های EC83-15، EC80-11، A1C84-15، Schulyer و EC79-18 بالاترین درصد زنده‌مانی طوقه در دمای ۱۰^{o}C- و کمترین مقدار LT50 را داشتند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن خشک بافت‌ها و درصد زنده مانی طوقه وجود داشت. همبستگی درصد آب برگ و گیاهچه و میزان اتلاف آب نسبی با درصد زنده‌مانی طوقه منفی و معنی‌دار بود ولی این همبستگی‌ها بالا نبودند.

واژه‌های کلیدی: جو، تحمل یخ‌زدگی، درصد آب بافت، دمای ۵۰ درصد کشندگی (LT50)، میزان اتلاف آب نسبی.

نویسنده مسئول: mmoghaddam@tabrizu.ac.ir تلفن: ۰۴۱۱-۳۳۹۲۰۵۸

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

توانایی گیاه برای زنده ماندن در زمستان‌های سخت را مقاومت زمستانی گویند (Fowler *et al.*, 1981). در مناطق سردسیر دماهای زیر صفر در دوره رشد عامل محدودکننده در کشت غلات به شمار می‌رود، بنابراین شناسایی ارقام مقاوم به یخزدگی از اهمیت خاصی در این مناطق برخوردار است. تحمل به یخزدگی و بقا در زمستان صفت پیچیده‌ای است که به عوامل متعددی مانند ژنوتیپ، خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، وضعیت خاک و نوسانات آب و هوایی بستگی دارد. تغییرات زیادی از نظر مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در طی دوره تنش سرما اتفاق می‌افتد که زمینه مناسبی را برای ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌ها فراهم می‌کند. برای مثال گزارش شده است که میزان خوابیدگی گیاهچه در غلات زمستانه، محتوای آب بافت و اندازه سلول همبستگی زیادی با مقاومت به سرما دارند (Limin and Fowler, 2000). برای ارزیابی گیاهان از نظر تحمل یخزدگی و گزینش ارقام مقاوم، عادت‌دهی خوب آن‌ها به سرما ضروری است. در مرحله عادت‌دهی واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیکی زیادی در ارتباط با افزایش تحمل به یخزدگی انجام می‌شود. بعد از مرحله عادت‌دهی گیاه با تنش یخزدگی یعنی دماهای زیر صفر مواجه می‌شود و در این دما اگر گیاه بتواند زنده بماند در واقع متحمل به یخ زدگی محسوب می‌شود (Palva *et al.*, 2001؛ Brule-Bable and Fowler, 1989؛ Gordon *et al.*, 1997). عادت‌دهی به دماهای پایین یک فرایند تجمعی است که می‌تواند متوقف شده، برگشته و دوباره شروع شود (Fowler *et al.*, 1977). در عین حال تحقیقات نشان داده‌اند که غلات زمستان‌گذران مانند گندم و جو توانایی عادت‌دهی مجدد پس از عادت‌دهی به سرما را ندارند. فرض بر این است که که کمبود انرژی و تغییر در میزان رطوبت طوقه سبب این عدم توانایی در عادت‌دهی مجدد می‌شود (Mahfoozi *et al.*, 2001a). بر اساس گزارش محفوظی و همکاران (Mahfoozi *et al.*, 2001b) در ارقام زمستانه گندم دمای ۵۰ درصد کشندگی LT50 (Lethal Temperature 50) از ۱۹- درجه سانتی‌گراد به ۳- درجه سانتی‌گراد بعد از دو هفته عادت‌دهی مجدد رسید.

یکی از مشکلات عمده در روش‌های ارزیابی مزرعه‌ای عبارت از ناتوانی در کنترل شدت تنش سرما است. به همین دلیل تلفات کامل در زمستان یا فقدان تلفات، در بیشتر آزمایش‌های زنده‌مانی در مزرعه مشاهده می‌شود که مانع از نتیجه‌گیری قطعی در باره ویژگی تحمل یخزدگی در ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی می‌شود. افزون بر این، شدت تنش سرما در آزمایش‌های مزرعه‌ای اغلب فاقد روند منظم بوده و خطای آزمایشی نیز زیاد است. پژوهش‌های بسیاری برای یافتن روش‌های

Archive of SID

www.SID.ir

ارزیابی سریع و موثر انجام شده است تا بتوان تحمل به یخزدگی ژنوتیپ‌های مختلف را پیش‌بینی کرد (Fowler *et al.*, 1977). آزمون‌های انجماد کنترل شده دارای مزایایی نسبت به آزمایش‌های مزرعه‌ای هستند زیرا سریع‌تر بوده، شرایط محیطی در آن‌ها بهتر کنترل می‌شود و فرصت تکرار بیشتر را فراهم می‌کنند. اما مشکلات موجود در برآورد دمای کشندگی و خطای زیاد، طبیعت مخرب و نیاز به جمعیت بزرگ، کاربرد آزمایش‌های کنترل شده را در جمعیت‌های گیاهی محدود می‌کند (Brule-Bable and Fowler, 1989؛ Fowler *et al.*, 1981). دمای ۵۰٪ کشندگی یا LT50 یکی از معیارهایی است که از طریق انجام آزمون‌های انجماد کنترل شده در اتاقک‌های انجماد برآورد می‌شود و عبارت از دمایی است که سبب ۵۰ درصد تلفات در گیاه می‌شود (Mahfoozi *et al.*, 2001b؛ Levitt, 1982). فاولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1981) در بررسی ۳۶ رقم گندم مقدار LT50 را بین ۱۱/۹۶- و ۱۹/۶ °C- برآورد کردند. در عین حال فوجیتا و همکاران (Fujita *et al.*, 1992) با ارزیابی ۳۰ رقم گندم مقدار LT50 را در محدوده ۳/۸ °C- تا ۹/۲ °C- گزارش کردند. طاهر شش رقم جو و ۷۵ رقم گندم را در شرایط مزرعه و آزمایشگاه ارزیابی کرد. کلیه ارقام و لاین‌ها در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد زنده ماندند و حداقل دما برای زنده ماندن در آزمایشگاه ۱۰- درجه سانتی‌گراد بود. روستایی و همکاران (Roustaii *et al.*, 2005) با بررسی تحمل به سرمای تعدادی از ژنوتیپ‌های جو گزارش کردند که ژنوتیپ‌های زمستانه جو مانند رقم کولد و لاین‌های نبراسکا از کشور آمریکا و نیز رقم روسی دوبرینیا بیشترین میزان تحمل (LT50=-15ºC) و ژنوتیپ‌های جو حاصل از دورگ‌های ژنوتیپ‌های والدین ایرانی با ارقام خارجی تحمل متوسط (LT50=-12ºC) به سرما داشتند. اکثر ژنوتیپ‌های جو دریافتی از مرکز بین‌المللی ایکارد بسیار حساس به تنش سرما بودند. این محققان بیان داشتند که میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به قابلیت سازگاری آن‌ها به شرایط آب و هوایی مناطقی دارد که از آن مناطق منشا گرفته‌اند. شهاب و همکاران (Shahab *et al.*, 2003) طی مطالعاتی همبستگی منفی و بالایی بین LT50 و درصد زنده‌مانی به‌دست آوردند. فاولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1981) نیز بین LT50 طوقه در آزمون انجماد و درصد زنده‌مانی در مزرعه همبستگی بالا و معنی‌داری (r= -۰/۹۵) گزارش کردند. براساس تحقیقات پراسیل و همکاران (Prasil *et al.*, 2007) مقادیر LT50 در جو به طرز صحیح میزان تحمل به یخزدگی را در جو پیش‌بینی کرد. از نتایج تحقیقات انجام یافته چنین به نظر می‌رسد که LT50 معیار مناسبی برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به یخزدگی در شرایط آزمایشگاهی است. از نظر گوستا و چن (Gusta and Chen, 1987) تعیین LT50 طوقه

Archive of SID

www.SID.ir

بهترین روش برآورد زنده‌مانی در مزرعه محسوب می‌شود زیرا طوقه گیاه در غلات مهم‌ترین قسمت گیاه به شمار می‌آید و در رشد دوباره پس از تنش یخزدگی نقش حیاتی ایفا می‌کند.

از صفات مرتبط با مقاومت به سرما می‌توان به سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک طوقه و وزن تر و خشک گیاهچه اشاره کرد (Fowler *et al*., 1981). میزان آب بافت و میزان اتلاف آب بافت نیز از روش‌های دیگر ارزیابی تحمل یخزدگی در گیاهان به شمار می‌آیند. به نظر فاولر و همکاران (Fowler *et al*., 1981) روش اندازه‌گیری میزان آب بافت تمام خصوصیات مطلوب را به عنوان یک صفت مهم آزمایشگاهی برای مقاومت به سرما دارا است. دانه لویی‌پور (Daneloiepour, 2001) بین درصد بقای زمستانی و مقدار آب بافت همبستگی منفی و متوسط (۰/۵۳-) به دست آورد و نشان داد هرچه میزان آب بافت بیشتر باشد بقای زمستانی و تحمل به یخزدگی کمتر خواهد بود. برول بابل و فاولر (Brule-Bable and Fowler, 1989) اظهار داشتند که همبستگی بالایی بین محتوای آب طوقه و برگ و LT50 در غلات وجود دارد. فاولر و همکاران (Fowler *et al*., 1981) ۳۴ صفت فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی را در ۳۶ رقم گندم زمستانه اندازه‌گیری کردند. در میان این صفات LT50، محتوای آب طوقه، محتوای آب برگ، ارتفاع گیاه و محتوای کل قند در طوقه همبستگی زیادی با درصد زنده‌مانی نشان دادند. راپاکز و جانویاک (Rapacz and Janowiak, 1998) اظهار داشتند که میزان آب بافت در طی دوره عادت‌دهی به سرما کاهش می‌یابد و این کاهش سبب افزایش تحمل یخزدگی می‌شود. پراسیل و همکاران (Prasil *et al*., 2001) نیز عنوان کردند که افزایش وزن خشک گیاهچه در طی دوره عادت‌دهی به سرما برای القای تحمل یخزدگی در جو حایز اهمیت است.

جو یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است و از نظر تولید جهانی چهارمین غله بعد از ذرت، گندم وبرنج محسوب می‌شود. بیشتر از ۱۵۲×۱۰^{۶} تن جو هر ساله در جهان تولید می‌شود (Anonymous, 2009). در جو عملکرد ارقام پاییزه به طور قابل توجهی بیشتر از ارقام بهاره است. قسمت عمده مناطق زیر کشت جو در ایران با دماهای پایین و یخبندان زمستانی مواجه است، بنابراین تنش ناشی از دمای پایین عامل اصلی محدودکننده بقای جو در این مناطق محسوب می‌شود. تولید ارقام مقاوم به دماهای زیر صفر یکی از اهداف اصلی اصلاح جو به شمار می‌آید. بنابراین، هدف از این پژوهش شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به یخزدگی در جو بر اساس آزمون انجماد طوقه و تعیین رابطه تحمل یخزدگی با برخی از صفات فیزیولوژیکی بود.

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد استفاده شامل ۴۰ ژنوتیپ جو دریافتی از بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر بود. ژنوتیپ‌ها در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در بهار ۱۳۸۵ کاشته شدند. آزمایش اول برای ارزیابی صفات فیزیولوژیکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آزمایش دوم در قالب طرح اسپلیت‌پلات بر پایه بلوک‌های کامل با سه تکرار انجام شد و دما به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ به عنوان عامل فرعی منظور شد. در آزمایش اول از هر ژنوتیپ ده بذر داخل گلدان‌ها کاشته شد. گلدان‌ها سه هفته در دمای طبیعی قرار گرفتند و سپس به مدت چهار هفته در دمای ۴-۲ درجه سانتی‌گراد در شرایط ۱۴ ساعت روشنایی ($250\ \mu E\ m^{-2}\ s^{-1}$) و ۱۰ ساعت تاریکی عادت‌دهی شدند. بعد از عادت‌دهی صفات زیر اندازه‌گیری شد:

وزن تر و خشک طوقه و برگ: از هر واحد آزمایشی دو گیاهچه برداشت شد. از هر گیاهچه قسمت طوقه و ریشه جدا و بلافاصله وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن تر طوقه، نیم سانتی‌متر از زیر طوقه و سه سانتی‌متر از بالای طوقه هر بوته قطع و بلافاصله وزن تر طوقه‌ها توزین شد. پس از توزین، نمونه‌ها به‌طورجداگانه داخل پاکت‌هایی قرار داده و به داخل انکوباتور منتقل شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای $80\ ^{o}C$ قرار گرفتند تا خشک شوند. سپس وزن خشک طوقه و برگ با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول‌های زیر درصد آب طوقه و برگ تعیین شد (Fowler *et al*., 1981):

$$\text{درصد آب طوقه} = \frac{\text{وزن خشک طوقه} - \text{وزن ترطوقه}}{\text{وزن تر طوقه}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد آب برگ} = \frac{\text{وزن خشک برگ} - \text{وزن تر برگ}}{\text{وزن تر برگ}} \times ۱۰۰$$

وزن تر و خشک گیاهچه: از مجموع وزن تر برگ و طوقه، وزن تر گیاهچه و از مجموع وزن خشک برگ و طوقه وزن خشک گیاهچه به دست آمد و درصد آب گیاهچه از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد آب گیاهچه} = \frac{\text{وزن خشک گیاهچه} - \text{وزن تر گیاهچه}}{\text{وزن تر گیاهچه}} \times ۱۰۰$$

Archive of SID

www.SID.ir

میزان اتلاف آب بافت: برای اندازه‌گیری این صفت ابتدا برگ‌های یک گیاهچه از هر واحد آزمایشی جدا و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها در شرایط اتاق در دمای ۲۰ ^{o}C قرار داده شدند و در فواصل زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت توزین شدند. پس از آن برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ ^{o}C در داخل انکوباتور گذاشته شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد و میزان اتلاف آب از فرمول زیر به دست آمد:

$$RWL= \frac{[(W_0 - W_{24}) + (W_{24} - W_{48})]}{2\, W_D\, (T_2 - T_1)}$$

در این فرمول W_0، W_{24}، W_{48} و W_D به ترتیب وزن تر، وزن بعد از ۲۴ ساعت، وزن بعد از ۴۸ ساعت و وزن خشک هستند و $T_2 - T_1$ فاصله زمانی بین دو اندازه‌گیری است.

در آزمایش دوم ژنوتیپ‌های مورد نظر در قالب طرح اسپلیت‌پلات با سه تکرار در داخل گلدان‌ها کاشته شدند. به منظور انجماد مصنوعی طوقه گیاهچه و اندازه‌گیری درصد زنده‌مانی و LT50، کلیه ژنوتیپ‌ها به مدت چهار هفته در شرایط عادت‌دهی به سرما قرار گرفتند و سپس کلیه ریشه‌ها از دو سانتی‌متری پایین طوقه و برگ‌ها از یک سانتی‌متری بالای طوقه طوری قطع شدند که امکان بازیافت گیاه بعد از اعمال تنش یخزدگی وجود داشته باشد. طوقه‌ها در ظروف آلومینیومی پوشیده با ماسه مرطوب قرار داده شدند و در سرد خانه برای اعمال تیمارهای دمایی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها به مدت ۱۸-۱۲ ساعت در دمای ثابت ۲- ^{o}C قرار داده شدند. پس از آن سردخانه طوری تنظیم شد که بطور اتوماتیک با گذشت زمان دما از ۲- ^{o}C به دماهای پایین‌تر نزول کند. تیمارهای دمایی عبارت از ۶-، ۱۰-، ۱۴-، ۱۶- و ۱۸- درجه سانتی‌گراد بودند. با مشاهده دماهای مورد نظر ظروف حاوی نمونه‌های مربوطه از سردخانه خارج شده و در دمای ۴ ^{o}C به مدت ۱۲ ساعت قرار داده شدند. پس از آن طوقه‌های مربوط به هر دما داخل گلدان‌ها کاشته شدند و برای هر دما از یک ژنوتیپ تعداد ده بوته منظور شد. بوته‌های کاشته شده به مدت ۲۱ روز در گلخانه‌ای با دمای ۲۰ ^{o}C قرار داده شدند و بعد از این مدت یادداشت‌برداری برای تعیین تعداد بوته‌های زنده مانده و از بین رفته انجام شد تا درصد زنده‌مانی و LT50 تعیین شود. محاسبه LT50 با استفاده از تبدیل پروبیت انجام شد.

نتایج و بحث

اسامی ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده در این بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است

تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی در جدول ۲ و میانگین ژنوتیپ‌ها در جدول ۳ آمده است. بین ژنوتیپ‌های جو از نظر صفات درصد آب برگ، طوقه و گیاهچه و میزان اتلاف آب نسبی اختلاف معنی‌داری وجود داشت که نمایانگر وجود تنوع ژنتیکی بین آن‌ها از نظر این

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Barley genotypes used in the experiment

شماره No.	کد Code	شماره No.	کد Code	شماره No.	کد Code	شماره No.	نام یا کد Name or code
1	EC79-10	11	EC82-11	21	A1C84-14	31	Makouee
2	EC79-13	12	EC83-4	22	A1C84-15	32	CB74-2
3	EC79-18	13	EC83-5	23	A2C84-5	33	Rihaneh
4	EC80-7	14	EC83-10	24	A2C84-6	34	Kavir
5	EC80-11	15	EC83-12	25	A2C84-8	35	73M4-C
6	EC80-13	16	EC83-15	26	A2C84-11	36	Schulyer
7	EC81-11	17	EC83-17	27	A2C84-12	37	L.1242
8	EC81-13	18	A1C84-7	28	A2C84-14	38	Aths
9	EC82-5	19	A1C84-9	29	A2C84-18	39	EM80-7
10	EC82-10	20	A1C84-12	30	A2C84-17	40	EM80-9

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های جو

Table 2. Analysis of variance for physiological characters in barley genotypes

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی df.	میزان اتلاف آب بافت Relative water loss	درصد آب گیاهچه Seedling water content	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	درصد آب برگ Leaf water content	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	درصد آب طوقه Crown water content	وزن خشک طوقه Crown dry weight	وزن تر طوقه Crown fresh weight
Replication	تکرار	2	35.75**	116.65**	127.20**	0.387**	98.98*	119.40**	0.282*	476.80*	7.10**	0
Genotype	ژنوتیپ	39	4.49*	8.95**	6.66ns	0.016ns	2.81*	3.24ns	0.010ns	12.84*	0.12ns	0.34ns
Error	خطا	78	2.74	4.17	4.68	0.013	1.81	2.24	0.009	7.60	0.11	0.10
CV% Original data	(برمبنای داده‌های اصلی)		14.5	2.5	12.7	21.3	1.6	9.1	24.7	3.4	7.7	28.1

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and **: Not-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- میانگین صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل یخزدگی در ژنوتیپ‌های جو
Table 3. Means of physiological characters related to cold tolerance in barley genotypes

شماره ژنوتیپ	میزان اتلاف آب بافت	درصد آب گیاهچه	درصد آب برگ	درصد آب طوقه	وزن خشک گیاهچه
No.	Relative water loss	Seedling water content (%)	Leaf water content (%)	Crown water content (%)	Seedling dry weight (g)
1	11.73	82.47	82.93	77.60	17.55
2	12.53	84.17	83.83	84.77	15.84
3	10.00	79.03	82.77	79.60	20.96
4	12.10	84.10	84.13	88.33	15.91
5	9.66	83.40	83.83	81.23	16.61
6	11.60	83.70	83.93	82.50	16.29
7	12.17	79.50	83.60	81.73	20.51
8	11.73	83.17	83.77	82.70	16.89
9	13.00	82.70	83.83	83.83	17.30
10	10.27	82.17	82.20	82.07	17.86
11	10.50	82.53	82.87	81.00	17.48
12	10.87	84.27	84.57	81.70	15.75
13	12.50	83.77	83.60	84.07	16.24
14	11.40	82.93	83.07	82.01	17.07
15	10.20	81.43	81.23	81.60	18.55
16	11.33	82.33	82.50	81.27	17.67
17	10.30	85.57	85.97	82.53	14.42
18	10.57	82.20	82.17	81.93	17.77
19	10.87	81.10	82.87	78.63	18.69
20	12.73	85.03	85.07	84.70	14.94
21	7.73	81.80	82.20	79.93	18.20
22	11.43	82.23	82.30	81.60	17.76
23	12.90	84.60	85.13	82.13	15.41
24	11.93	83.43	82.73	82.73	16.56
25	13.87	83.97	87.30	82.20	16.01
26	11.03	84.33	84.53	83.07	15.66
27	11.83	83.10	83.37	79.97	16.92
28	11.11	82.90	82.83	83.13	17.13
29	11.11	83.17	83.60	81.43	16.82
30	11.60	83.97	84.40	82.07	16.03
31	10.83	82.10	83.03	80.33	17.88
32	11.27	82.40	82.73	80.80	17.59
33	11.87	83.27	83.10	84.73	16.71
34	10.83	84.80	84.23	85.37	15.20
35	11.70	83.10	83.27	81.77	16.90
36	11.03	76.27	82.30	74.03	20.89
37	12.93	83.73	83.83	83.00	16.25
38	15.07	82.27	83.77	82.27	17.73
39	11.67	85.23	85.23	83.60	14.74
40	11.11	83.60	83.70	82.43	16.41
LSD(0.05)	2.69	3.32	2.19	4.49	3.52

برای نام ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود. For genotypes name see Table 1.

صفات است. ضریب تغییرات محاسبه شده از ۱/۶ برای درصد آب برگ تا ۲۸/۱ برای وزن تر طوقه متغیر بود. بررسی میانگین‌ها بیانگر آن است که ژنوتیپ‌های شماره ۱۹، ۳، ۲۱ و ۳۶ را

Archive of SID
www.SID.ir

می‌توان به علت برخورداری از ارزش مطلوب در پنج صفت مورد اشاره به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب از نظر دارا بودن ویژگی‌های مرتبط با تحمل یخزدگی (درصد آب کمتر و وزن خشک بیشتر) در نظر گرفت (جدول ۳). تعدادی از محققان درصد آب کم و وزن خشک بیشتر بافت‌ها را به عنوان ویژگی‌های وابسته به مقاومت به سرما مطرح کرده‌اند (Prasil *et al.*, 2001؛ Rapacz and Janowiak, 1998؛ Fowler *et al.*, 1981؛ Andrews *et al.*, 1997؛ Brule-Bable and Fowler, 1989).

تجزیه واریانس درصد زنده‌مانی ناشی از آزمون انجماد طوقه برای ۴۰ ژنوتیپ جو در دو سطح دمایی (۶- و ۱۰- درجه سانتی گراد) در جدول ۴ آمده است. با توجه به صفر بودن اغلب داده‌های مربوط به درصد زنده‌مانی در دماهای ۱۴-، ۱۶- و ۱۸- که منجر به ناهمگنی واریانس خطاها و غیرنرمال شدن داده‌ها شد، نتایج مربوط به این سه دما در تجزیه واریانس منظور نشد. بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر درصد زنده‌مانی طوقه وجود داشت. اثر متقابل دما × ژنوتیپ نیز معنی‌دار شد و بنابراین اختلاف پاسخ ژنوتیپ‌ها در دماهای مختلف یکسان نبود. میانگین LT50 طوقه برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ۱۰/۱۴ ^{o}C- به دست آمد. ژنوتیپ شماره ۱۱ با LT50 طوقه برابر با ۱۲/۱۵ ^{o}C- بیشترین تحمل یخزدگی را دارا بود. بیشترین میزان LT50 طوقه نیز مربوط به ژنوتیپ شماره ۲۰ با ۵/۹۸ ^{o}C- بود (شکل ۱). مقایسه درصد زنده‌مانی ژنوتیپ‌ها با LT50 طوقه آن‌ها نشان داد که اغلب ژنوتیپ‌های با درصد زنده‌مانی بالا دارای LT50 پایین‌تر هستند. فاولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1981) در بررسی ۳۶ رقم گندم میزان LT50 را در محدوده ۱۱/۹ ^{o}C- تا ۱۹/۶^{o}C- برآورد کردند که با توجه به حساسیت به یخزدگی بیشتر جو در مقایسه با گندم بیشتر بودن مقدار LT50 (۱۰/۱۴ ^{o}C-) آن قابل توجیه است. بر اساس شکل ۱ و جدول ۵ ژنوتیپ‌های شماره ۱۱، ۵، ۳۶، ۱۶، ۳ و ۲۲ از LT50 طوقه کمتر و درصد زنده‌مانی بالاتر در دمای ۱۰ ^{o}C- برخوردار بودند. تنها ژنوتیپ‌های شماره ۳۶ و ۳ ویژگی‌های مطلوبی از نظر درصد آب بافت‌ها و وزن خشک گیاهچه داشتند.

محاسبه ضرایب همبستگی نیز رابطه متوسط به پایین LT50 طوقه و وزن خشک گیاهچه را نشان داد (جدول ۶). هرچند که همبستگی LT50 طوقه با وزن خشک طوقه، برگ و گیاهچه، درصدآب طوقه، برگ و گیاهچه و نیز با درصد اتلاف آب بافت معنی‌دار بود ولی مقادیر آن‌ها چندان قابل‌توجه نبود (به ترتیب ۰/۳۹-، ۰/۴۳-، ۰/۳۹-، ۰/۴۳، ۰/۳۶*، ۰/۳۸* و ۰/۳۳*). مشابه همین نتایج برای رابطه درصد زنده‌مانی طوقه در دمای ۱۰C- با صفات مذکور ولی با علامت معکوس به دست آمد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- تجزیه واریانس مربوط به درصد زنده‌مانی ژنوتیپ‌های جو در ۶- و ۱۰- درجه سانتی‌گراد
Table 4. Analysis of variance for survival percentage of barley genotypes in -6°C and 10°C

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS
Replication	تکرار	2	0.183 ns
Temperature (T)	دما	1	2.730 *
Error a	خطای a	2	0.111
Genotype (G)	ژنوتیپ	39	0.132 **
T × G	دما × ژنوتیپ	39	0.069 **
Error b	خطای b	156	0.004
CV (%)	ضریب تغییرات		10.69

ns، * و **: غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.
ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

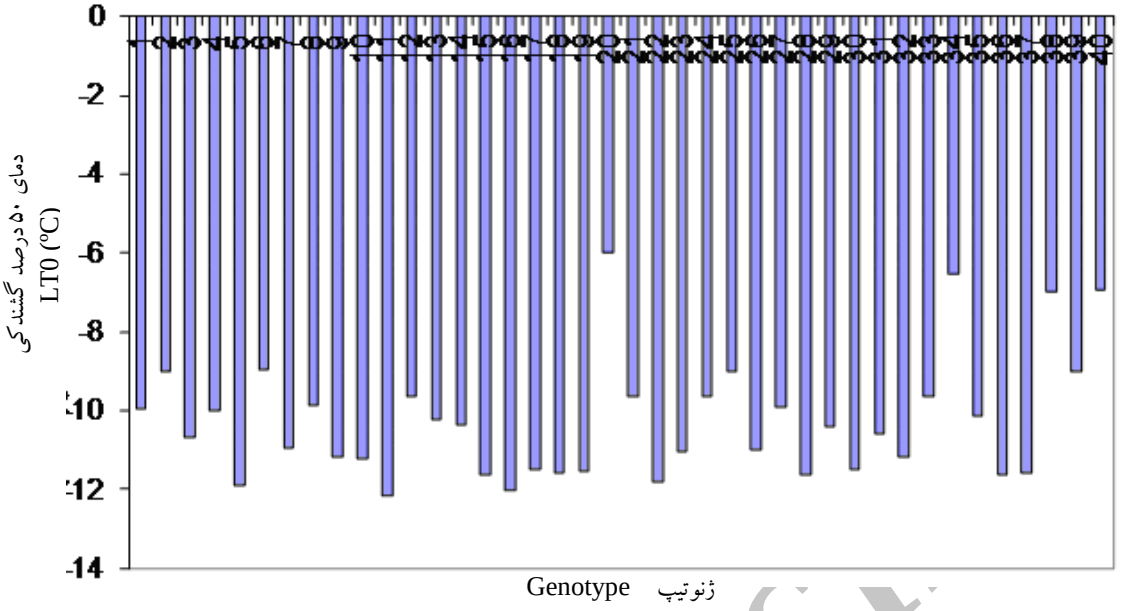
جدول ۵- میانگین درصد زنده‌مانی ژنوتیپ‌های جو در دماهای ۶°C- و ۱۰°C-
Table 5. Means for survival percentage of barley genotypes in -6°C and -10°C

ژنوتیپ	دما Temperature		ژنوتیپ	دما Temperature	
Genotype	-6°C	-10°C	Genotype	-6°C	-10°C
1	83.67	56.33	21	89.00	66.67
2	80.83	29.00	22	100.00	92.33
3	74.67	92.33	23	100.00	59.00
4	92.67	59.33	24	93.33	47.00
5	100.00	96.00	25	96.00	39.67
6	55.66	50.33	26	100.00	73.67
7	100.00	52.66	27	91.67	57.00
8	72.66	58.33	28	100.00	83.00
9	80.33	92.33	29	91.67	62.00
10	100.00	63.00	30	100.00	73.67
11	100.00	91.66	31	100.00	44.67
12	92.66	46.00	32	92.33	73.33
13	95.33	54.00	33	71.00	63.00
14	86.33	7.00	34	66.67	3.67
15	85.33	85.33	35	71.00	67.00
16	100.00	100.00	36	92.67	88.00
17	100.00	68.66	37	100.00	81.33
18	96.00	81.33	38	89.67	23.67
19	100.00	70.33	39	81.67	4.67
20	41.33	29.66	40	53.67	16.66
LSD (0.05) = 37.66					

برای نام ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود. For genotypes name see Table 1.

فاولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1981) نیز بین میزان آب بافت و LT50 همبستگی مثبت و معنی‌دار و بین وزن خشک بافت‌ها و LT50 همبستگی منفی و معنی‌دار به دست آوردند. همبستگی منفی و معنی‌دار درصد اتلاف آب بافت با درصد زنده‌مانی در

www.SID.ir



شکل ۱- نمایش LT50 طوقه در ژنوتیپ‌های جو مورد مطالعه

Fig. 1. LT50 of crown in barley genotypes

For genotypes name see Table 1. برای نام ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

این پژوهش بیانگر این واقعیت است که هرچه غشای سلولی آسیب کمتری در اثر انجماد ببیند از میزان اتلاف آب کمتری برخوردار شده و درصد زنده‌مانی بیشتری خواهد داشت (Zebalska and Kasperska, 1999). همبستگی LT50 با درصد زنده‌مانی طوقه در دو دمای ^{o}C ۶- و ^{o}C ۱۰- منفی و معنی‌دار (به ترتیب برابر **۰/۷۸- و **۰/۸۴-) به دست آمد.

در تجزیه رگرسیون گام به گام با در نظر گرفتن صفات LT50 طوقه و درصد زنده مانی طوقه در دو دمای ^{o}C ۶- و ^{o}C ۱۰- به عنوان متغیرهای وابسته و بقیه صفات به عنوان متغیرهای مستقل، فقط صفات درصد آب طوقه برای LT50، وزن خشک طوقه برای درصد زنده‌مانی در دمای ^{o}C ۶- و درصد آب برگ برای درصد زنده‌مانی طوقه در دمای ^{o}C ۱۰- در مدل باقی ماندند. این تجزیه نیز رابطه ضعیف متغیرهای باقیمانده در مدل را با LT50 و درصد زنده‌مانی طوقه نشان داد و ضرایب تبیین مربوط از ۰/۱۳ تا ۰/۲۳ در نوسان بود (جدول ۷). هر چند که در برخی منابع رابطه خوبی بین صفات فیزیولوژیکی فوق‌الذکر و تحمل به یخزدگی گزارش شده است، ولی به طور کلی نتایج حاصل از ضرایب همبستگی و رگرسیون گام به گام در شرایط این آزمایش بیانگر این واقعیت است که تنها با اتکا به صفاتی مانند درصد آب بافت‌ها، میزان اتلاف آب و وزن خشک بافت‌ها نمی‌توان ژنوتیپ‌های مقاوم به تحمل یخزدگی را شناسایی کرد و لازم است از آزمون انجماد نیز برای گزینش ژنوتیپ‌ها استفاده شود. در عین

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۶- ضرایب همبستگی بین صفات مختلف در ژنوتیپ‌های جو

Table 6. Correlation coefficients among different characters in barley genotypes

صفت		درصد زنده‌مانی در -6 ºC	درصد زنده‌مانی در -10 ºC	وزن تر طوقه	وزن خشک طوقه	درصد آب طوقه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	درصد آب برگ	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	درصد آب گیاهچه
Character	LT50	% survival at -6ºC	% survival at -10ºC	Crown fresh weight	Crown dry weight	Crown water content	Leaf fresh weight	Leaf dry weight	Leaf water content	Seedling fresh weight	Seedling dry weight	Seedling water content
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(10	-0.78**											
(2)	-0.84**	0.51**										
(3)	0.09ns	-0.09ns	-0.04ns									
(4)	-0.39*	0.32*	0.36*	0.20ns								
(5)	0.43**	-0.27ns	-0.40*	-0.21ns	-0.92							
(6)	-0.15ns	-0.04ns	0.25ns	0.83**	0.23ns	-0.33**						
(7)	-0.34*	0.18ns	0.44**	-0.14ns	0.55**	-0.49**	0.03ns					
(8)	0.36*	-0.19ns	-0.47**	0.10 ns	-0.44**	0.45**	0.16ns	-0.89**				
(9)	0.10ns	0.07ns	-0.21ns	-0.87**	-0.22ns	0.32*	0.97**	0.02ns	0.09ns			
(10)	-0.39*	0.18ns	0.46**	-0.04ns	0.68**	-0.67**	0.14ns	0.75**	-0.73**	-0.09ns		
(11)	0.38*	-0.17ns	-0.45**	-0.05ns	-0.69**	0.74**	-0.23ns	-0.70**	0.68**	0.19ns	-0.97**	
(12)	0.33*	-0.09ns	-0.34*	0.18ns	-0.25ns	0.33*	-0.09ns	-0.29ns	0.37*	-0.02ns	-0.25ns	0.23ns

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- نتایج رگرسیون گام به گام برای LT50 و درصد زنده‌مانی طوقه در دمای ۶°C- و ۱۰°C-
Table 7. Results of stepwise regression for LT50 and percent crown survival at -6°C and -10°C

متغیر وابسته Dependent variable	صفت وارد شده به مدل Character entered	ضریب رگرسیون جزء استاندارد شده Standardized regression coef.	R^2
LT50	درصد آب طوقه Crown water content	0.44	0.19
درصد زنده‌مانی در ۶°C- % survival at -6 °c	وزن خشک طوقه Crown dry water content	0.36	0.13
درصد زنده‌مانی در ۱۰°C- % survival at -10 °c	درصد آب برگ Leaf water content	0.48	0.23

حال با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان گفت که امکان تشخیص برخی از ژنوتیپ‌های برخوردار از ویژگی‌های مطلوب به طور همزمان در آزمون‌های انجماد و توسط صفات فیزیولوژیکی وجود دارد. به عنوان مثال ژنوتیپ شماره ۳۶ (رقم Schulyer) دارای LT50 طوقه پایین و درصد زنده‌مانی بالا در آزمون انجماد بود و از نظر صفات آب بافت‌ها، میزان اتلاف آب و وزن خشک بافت‌ها در زمره ژنوتیپ‌های مطلوب قرار داشت.

از بین صفات مذکور LT50 از ضریب تغییرات ژنتیکی (۶۱ درصد) و وراثت‌پذیری عمومی (۰/۹۷) بالاتری نسبت به صفات مربوط به آب بافت و وزن خشک بافت برخوردار بود که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بیشتر برای این صفت و نقش کمتر عوامل غیرژنتیکی در تبیین آن است (جدول ۸). پایین بودن مقدار وراثت‌پذیری عمومی برای اکثر این صفات نشان‌دهنده سهم کمتر عوامل ژنتیکی نسبت به اثر محیطی در کنترل صفت مقاومت به دمای یخزدگی و یا تنوع ژنتیکی پایین ژنوتیپ‌ها در شرایط این پژوهش بود. فاولر و همکاران (Fowler *et al.*, 1981) نیز بیشترین وراثت‌پذیری و کمترین میزان خطای نسبی را برای LT50 در بین صفات آزمایشگاهی مرتبط با تحمل به یخزدگی گزارش کردند.

با وجود این که مقاومت زمستانی ارقام شامل تحمل تنش‌های مختلف مانند یخزدگی، پوشش یخ و بیماری‌ها، قطع شدن طوقه و خشکی است، ولی دمای یخزدگی به عنوان عامل اصلی محدودکننده در مزرعه شناخته شده است (Levitt, 1982). بنابراین، تعیین LT50 طوقه در آزمایشگاه در کنار ارزیابی‌های مزرعه‌ای می‌تواند در شناسایی ارقام مقاوم به یخزدگی زمستانی مفید باشد. افزون براین، در پژوهش حاضر از میان صفات وابسته به مقاومت به یخزدگی در آزمایشگاه، وراثت‌پذیری LT50 (۰/۹۷) بیشتر از سایر صفات بود. چنان که قبلاً نیز عنوان شد، در مجموع با توجه به LT50 و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این تحقیق، ژنوتیپ‌های شماره ۳۶ (Schulyer) و ۳ (EC79-18) با در

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸- مربع ضریب تغییرات ژنتیکی ($CV^2_{(G)}$) و وراثت‌پذیری صفات در ژنوتیپ‌های جو بر اساس داده‌های اصلی

Table 8. Squared genetic coefficient of variation and heritability of characters in barley genotypes based on original date

پارامترهای ژنتیکی	صفت Character										
Genetic parameters	LT50	درصد اتلاف آب Relative water loss	درصد آب گیاهچه Seedling water content	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	درصد آب برگ Leaf water content	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	درصد آب طوقه Crown water content	وزن خشک طوقه Crown dry weight	وزن تر طوقه Crown fresh weight
$CV^2_{(G)}$ (%)	61.00	43.56	4.00	0.003	36.00	36×10^{-6}	0.0016	21.16	2.56	0.0004	44.9
وراثت پذیری Heritability	0.97	0.39	0.54	0.300	0.19	0.36	0.32	0.10	0.41	0.11	0.73

Archive of SID

www.SID.ir

نظر گرفتن کلیه صفات مورد مطالعه در زمره ژنوتیپ‌های مطلوب از نظر تحمل یخزدگی قرار گرفتند. از این رو استفاده از این ژنوتیپ‌ها به عنوان منابع برخوردار از تحمل یخزدگی در برنامه‌های به‌نژادی جو توصیه می‌شود. ژنوتیپ‌های ۲۰ (A1C84-12)، ۳۸ (Aths) و ۴۰ (EM80-9) نیز از ژنوتیپ‌های حساس به یخزدگی بودند. بنابراین، می‌توان این دو گروه از ژنوتیپ‌های با ویژگی‌های متضاد را در مکان‌یابی ژن‌های عامل مقامت به یخزدگی به کار برد.

References

Andrews, C. J., Pomeroy, M. K., Seaman, W. L., Butler, G. P., Bonn, C., and Hoekstra, G. 1997. Relationships between planting date, winter survival and stress tolerances of soft white winter wheat in Eastern Ontario. Canadian Journal *of* Plant Science 77: 507-513.

Anonymous, 2009. FAOSTAT. FAO, Rome, Italy.

Brule - Bable, A. L., and Fowler, D. B. 1989. Use of controlled environments of winter cereals cold hardiness evaluation: Controlled freeze tests and tissue water content. Canadian Journal *of* Plant Science 69: 355-366.

Danehlouipour, N. 2001. Investigation on cold resistance in rapeseed using quantitative characters and molecular markers. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).

Fowler, D. B., Dvorak, J., and Gusta, L. V. 1977. Comparative cold hardiness of several Triticum species and *Secale cereale* L. Crop Science 17: 941-94.

Fowler, D. B., Gusta, L. V., and Tyler, N. J. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screeninig methods. Crop Science 21: 896-901.

Fujita, M., Kawada, N., and Tahir, M. 1992. Relationship between cold resistance, heading traits and ear primordial development of wheat cultivars. Euphytica 68: 123-130.

Gordon, R. G., Chauvin, L. P., Sarhan, F., and Huner, N. P. A. 1997. A complex interaction of light and temperature. Plant Physiology 41: 178-223.

Gusta, L. V., and Chen, T. H. H. 1987. The physiology of water and temperature stress. pp.115-144. In: Heyne, E. G. (ed.). Wheat and Wheat Improvement. Agronomy Monograph 13, ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI, USA.

Archive of SID

www.SID.ir

Levitt, J. 1982. Responses of plants to environmental stress. pp. 19-131. In: Kozlowski, T. T. (ed), Academic Press, Inc. New York, USA.

Limin, A. E., and Fowler, D. B. 2000. Morphological and cytological characters associated with low- temperature tolerance in wheat. Canadian Journal of Plant Science 80: 687-692.

Mahfoozi, S., Limin, A. E., and Fowler, D. B. 2001a. Developmental regulation of low - temperature tolerance in winter wheat. Annals of Botany 87: 751-757.

Mahfoozi, S., Limin, A. E., and Fowler, D. B. 2001b. Influence of vernalization and photoperiod responses on cold hardiness in winter cereals. Crop Science 41: 1006-1011.

Palva, E. T., Welling, A., Tahtiharju, S., Puhakaineu, T., Makela, P., Litinen, R., Li, C., Helenius, E., Boije, M., Aspegren, K., Aolto, O., and Heino, P. 2001. Cold acclimation and development of freezing and drought tolerance in plants. Acta Horticulturae 560: 277-284.

Prasil, I. T., Kadlecova-Faltusova, Z., and Faltus, M. 2001. Water and ABA content in fully expanded leaves of cold-hardened barleys. Icelandic Agricultural Sciences 14: 49–53.

Prasil, I. T., Prasilova, **P., and Marik, P. 2007.** Comparative study of direct and indirect evaluations of frost tolerance in barley. Field Crops Research 102: 1-8.

Rapacz, M., and Janowiak, F. 1998. Physiological effects of winter rape (*Brassica nappus*). Crop Science 181: 13-20.

Roustaii, M., Mahfoozi, S., and Ansari, Y. 2005. Determination of low-temperature tolerance in some bread wheat, durum wheat and barley genotypes. Seed and Plant 21: 467-482 (in Persian).

Shahab, M. A., Qian, Y. L., Hughes, H. G., and Koski, A. J. 2003. Cold hardiness of saltgrass accessions. Crop Science 43: 2142- 2147.

Tahir, M. 1986. Primordia development studies in wheat. ICARDA Cereal Improvement Program Annual Report, Aleppo, Syria, pp. 170-176.

Zebalska, M. K., and Kasperska, A. 1999. Low temperature – induced modifications of cell wall content and polysaccharide composition in leaves of winter oilseed rape. Plant Science 148: 59–67.

Archive of SID

www.SID.ir